

## **Magnetic bearing having permanent magnets for absorbing the radial bearing forces**

Patent Number: DE3844563

Publication date: 1989-11-23

Inventor(s): FREMEREY JOHAN K DR (DE)

Applicant(s):: KERNFORSCHUNGSSANLAGE JUELICH (DE)

Requested Patent:  DE3844563

Application Number: DE19883844563 19880312

Priority Number(s): DE19883844563 19880312; DE19883808331 19880312

IPC Classification: F16C32/04 ; H02K7/09

EC Classification: F16C39/06, H02K7/09, D01H4/12

Equivalents:

---

### **Abstract**

---

A magnetic bearing for a rotor is disclosed, which rotor has permanent magnets for absorbing the radial bearing forces and has a stabiliser which holds the rotor such that it does not touch the stator. For this purpose, electrical coils are fitted on the stator, which coils interact with magnetisable parts fastened on the rotor. In order to make the bearing as independent as possible of the spatial orientation of the rotor axis and of deformations of the housing, a centre-of-gravity bearing (5) having comparatively high radial stiffness is arranged in the vicinity of the centre of gravity of the rotor (Figure 1, reference 4) and a stabilising bearing (7) having less radial stiffness than the centre-of-gravity bearing is arranged at another location on the rotor (1). The centre-of-gravity bearing (5) supports the majority of the weight of the rotor, and the stabilising bearing (7) essentially provides static and dynamic stabilisation of the entire system.



---

Data supplied from the **esp@cenet** database - 12

⑯ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑯ Offenlegungsschrift  
⑯ DE 3844563 A1

⑯ Int. Cl. 4:  
H02K 7/09  
F 16 C 32/04

Behördeneigentum

⑯ Anmelder:  
Kernforschungsanlage Jülich GmbH, 5170 Jülich, DE

⑯ Teil aus: P 38 08 331.0

⑯ Erfinder:  
Fremerey, Johan K., Dr., 5300 Bonn, DE

DE 3844563 A1

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑯ Magnetische Lagerung mit Permanentmagneten zur Aufnahme der radialen Lagerkräfte

Für einen Rotor wird eine magnetische Lagerung mit Permanentmagneten zur Aufnahme der radialen Lagerkräfte und mit einem Stabilisator angegeben, der den Rotor in einer berührungslosen Lage gegenüber dem Stator hält. Am Stator sind hierzu elektrische Spulen angebracht, die mit am Rotor befestigten magnetisierbaren Teilen zusammenwirken.

Um die Lagerung von der räumlichen Orientierung der Rotorschwerpunkts sowie von Gehäusedeformationen weitestgehend unabhängig zu machen, ist im Bereich des Rotorschwerpunkts (Figur 1, Bezugszeichen 4) ein Schwerpunktllager (5) mit vergleichsweise hoher radialem Steifigkeit und an anderer Stelle des Rotors (1) ein Stabilisierungslager (7) mit im Vergleich zum Schwerpunktllager geringer Radialsteifigkeit angeordnet. Das Schwerpunktllager (5) trägt den größten Teil des Rotorgewichts, das Stabilisierungslager (7) übernimmt im wesentlichen die statische und dynamische Stabilisierung des gesamten Systems.

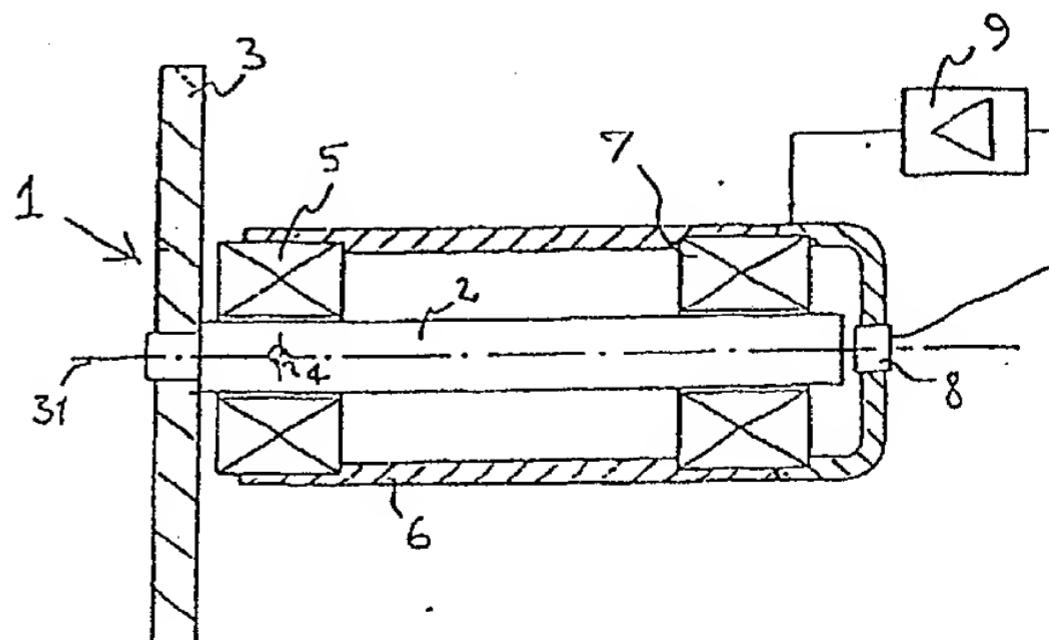


Fig. 1

## Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf eine magnetische Lagerung für einen Rotor mit Permanentmagneten zur Aufnahme der radialen Lagerkräfte und mit einem Stabilisierungslager, das den Rotor in einer berührungslosen Lage gegenüber einem Stator hält. Hierzu wirken am Stator angebrachte elektrische Spulen mit am Rotor befestigten magnetisierbaren Teilen zusammen. Zur Stabilisierung von Radialbewegungen des Rotors gegenüber dem Stator ist eine Wirbelstromdämpfung vorgesehen.

Magnetlager dieser Art sind aus der US-PS 39 29 390 und Journal of Spacecraft, Band 17, No. 2, 1980, S. 93—98, bekannt. Bei diesen Magnetlagern sind an beiden Rotorenden ringförmig ausgebildete Permanentmagnete angebracht, die mit am Stator befestigten Ringmagneten in der Weise zusammenwirken, daß auf den Rotor bei radialem Auslenkung eine radiale Zentrierkraft ausgeübt wird. Gleichzeitig entsteht in axialer Richtung eine Kraftinstabilität durch die Permanentmagnete. Diese Kraftinstabilität wird durch eine in der Mitte des Rotors angebrachte, axial wirkende elektromagnetische Ablenkzelle ausgeglichen, die mit elektrischen Steuerströmen entsprechend der jeweiligen axialen Abweichung des Rotors von seiner axialen Nullposition beaufschlagt wird. Die Abweichung wird mittels eines berührungslosen Sensorsystems erfaßt, welches den die Ablenkzelle durchfließenden Steuerstrom über einen entsprechenden elektronischen Verstärker regelt. Auf beiden Seiten der Ablenkzelle sind in unmittelbarer Nähe der an den Rotorenden angebrachte Permanentmagnete mit dem Stator fest verbundene Kupferscheiben angebracht, die mit am Rotor befestigten Permanentmagneten in der Weise zusammenwirken, daß radiale Vibrationen des Rotors gedämpft werden. Dagegen werden in einer aus DE-AS 34 09 047 bekannten magnetischen Lagerung für diejenigen permanentmagnetischen Lagerelemente, die die radiale Zentrierung des Rotors bewirken, die Positionen beidseitig des Rotor-schwerpunkts im wesentlichen beibehalten, während die Ablenkzelle an das Ende der Rotorwelle außerhalb der permanentmagnetischen Rotorlager gelegt ist. Die Ablenkzelle enthält dabei mehrere am Rotor befestigte Permanentmagnete, die mit einer am Stator angebrachten Kupferplatte eine Wirbelstromdämpfung für radiale Vibrationen des Rotors bewirken.

Nachteil der vorbeschriebenen Magnetlagerungen ist, daß während des Betriebes solcher Lagerungen auftretende axiale Deformationen des Rotors und in besonderem Maße des den Rotor einschließenden Gehäuses, an welchem die Statormagnete befestigt sind, eine beträchtliche Dejustierung des Lagersystems bewirken können, so daß unter ungünstigen Bedingungen der Spielraum in der magnetischen Ablenkzelle überschritten wird. Die genannten Deformationen treten insbesondere infolge von Druckbelastungen des Gehäuses auf, wenn dieses beispielsweise evakuiert wird, oder infolge von thermischen Belastungen, die in erster Linie vom Antriebsmotor für den Rotor verursacht werden. Andererseits können antriebsbedingte oder durch Gasreibung bei hohen Rotationsgeschwindigkeiten verursachte Erwärmungen des Rotors eine Längenänderung des Rotors und damit eine Dejustierung der magnetischen Lagerungen verursachen.

Aufgabe der Erfindung ist es, eine magnetische Lagerung zu schaffen, deren Justierung weitestgehend unempfindlich gegen Deformationen ist, ohne daß der La-

geraufbau aufwendig wird.

Diese Aufgabe der Erfindung wird bei einem Magnetlager der eingangs bezeichneten Art durch die im Patentanspruch 1 angegebenen Merkmale gelöst. Das erfundsgemäße Lager weist nur noch zwei in sich geschlossene Lagerkomponenten auf, wobei die statische Justierung durch ein Schwerpunktllager mit vergleichsweise hoher magnetischer Steifigkeit bestimmt wird, während das Stabilisierungslager mit im Vergleich zum Schwerpunktllager geringerer Steifigkeit im wesentlichen die berührungslose Stabilisierung des Systems übernimmt. Das Schwerpunktllager trägt den weitaus größten Teil des Rotorgewichts und ist im Bereich des Rottorschwerpunkts angeordnet. Diese Aufteilung der tragenden und stabilisierenden Funktion auf zwei unterschiedliche magnetische Lager ist in seiner Wirkungsweise vergleichbar mit der Aufteilung der tragenden und stabilisierenden Funktionen von Tragfläche und Leitwerk bei Flugzeugen.

Dadurch, daß das Schwerpunktllager die Rotormasse trägt, wird auch die Gleichgewichtslage des Rotors in axialer Richtung überwiegend vom Schwerpunktllager bestimmt, während deformationsbedingte Verschiebungen des Stabilisierungslagers wegen dessen geringer Steifigkeit nur einen unbedeutenden Einfluß auf das Rotorgleichgewicht haben. Bevorzugt beträgt das Verhältnis der Lagersteifigkeit zwischen Schwerpunktllager und Stabilisierungslager mindestens 10 : 1.

Die Schwerpunktllagerung des Rotors macht auch fliegende Lagerungen von Maschinenteilen möglich. Eine solche Lagerung bietet neben der für die Handhabung des Systems günstigen Montagefreiheit an der lagerfreien Seite den Vorteil, daß alle Komponenten der magnetischen Lagerung in einem kurzen und deshalb formstabilen Gehäuse untergebracht werden können, im Gegensatz zu den bekannten Lagerungen, bei denen die Lagerkomponenten über entsprechend große Gehäuseteile verbunden werden müssen, deren Deformationen sich, wie vorbeschrieben, auf die Magnetlagerung negativ auswirken.

Mit dem Ziel, eine hohe Lagersteifigkeit im Schwerpunktllager zu erreichen, besteht das Schwerpunktllager nach Patentanspruch 2 aus einem Satz von Magnetringen aus hartmagnetischem Material mit gleichgerichteter axialer Magnetisierung. Rotor- und Statormagnetringe sind abwechselnd und bezüglich ihrer Magnetisierungsrichtung hintereinander angeordnet, wobei sich die im wesentlichen ebenen Stirnflächen von Rotor- und Statormagnetringen in engem axialen Abstand gegenüberstehen.

Die Anordnung der axial magnetisierten Ringe in Hintereinanderschaltung, also in axial anziehender Anordnung, hat gegenüber den in bekannten Magnetlagern vielfach angewandten abstoßenden Magnetanordnungen den Vorteil, daß die Magnetringe bei hoher innerer magnetischer Flußdichte betrieben werden, so daß die lokalen Schwankungen in der Koerzitivfeldstärke des magnetischen Materials die Gleichmäßigkeit der Drehbewegungen des Rotors nur wenig beeinträchtigen. Das Vermeiden von Eisenpolenschuhen mit Flußkonzentration an den Luftspalten, die bei anderen Magnetlagern eingesetzt werden, ermöglicht ein günstiges Verhältnis der radialen Zentriersteifigkeit des Lagers zu dessen negativer Axialsteifigkeit und umgeht gleichzeitig die Verwendung der herstellungstechnisch ungünstigen und somit kostenaufwendigen Ringmagnete mit radialem Magnetisierung.

Für Anwendungsfälle, in denen die Magnetlager mit

chemisch aggressiven Gasen oder Flüssigkeiten in Be-  
rührung kommen, insbesondere bei Verwendung der Magnetlager in Pumpen oder Kompressoren, werden die aus hartmagnetischem Material gefertigten Magnetringe bzw. Scheiben bevorzugt mit einer Beschichtung versehen, die das hartmagnetische Material gegen die Einwirkung solcher Medien schützt, Patentanspruch 3.

Im Falle der Verwendung von Seltenerde-Kolbalt-Werkstoffen für die Magnetringe bzw. Magnetscheiben und einem Betrieb in wasserstoffhaltigen Medien wird gemäß Patentanspruch 4 die Beschichtung vorteilhaft aus Schutzscheiben und/oder Schutzbüchsen gefertigt, die mittels Schrumpfverbindungen oder durch Kleben, Löten oder Schweißen auf den Magnetringen bzw. Magnetscheiben befestigt werden.

In Anwendungsfällen, in welchen lediglich eine Feuchtigkeitssperre zur Verhinderung von Korrosion erforderlich ist, werden die Magnetringe oder -scheiben nach Patentanspruch 5 vorzugsweise kostengünstig durch Aufbringen einer flüssigen Phase beschichtet, wobei insbesondere eine Kunststoffimprägnierung sowie chemisch bzw. galvanisch aufgebrachte Metallschichten gebildet werden.

Zur Vermeidung einer mechanischen Überbeanspruchung der Magnetringe aus hartmagnetischem Material, die aufgrund von Zentrifugalkräften bei hohen Rotationsgeschwindigkeiten auftreten können, werden diese Magnetringe gemäß Patentanspruch 6 in vorteilhafter Weise in einem Material hoher Zugfestigkeit eingefasst. Als solches eignet sich vorzugsweise ein Faserverbundwerkstoff.

Da das Schwerpunktllager wegen der ausschließlichen Verwendung von Permanentmagneten zur Krafterzeugung in seiner zentrierenden Funktion nicht ausfallen kann, und weil diesem Schwerpunktllager im Vergleich zum Stabilisierungslager nur geringe dynamische Stabilisierungsaufgaben zugeordnet sind, kann am Schwerpunktllager auf ein mechanisches Notlaufllager hoher Qualität zugunsten einer einfachen, kostengünstigen und bruchsicheren Anlaufbuchse verzichtet werden, Patentanspruch 7. Die zentrierende Wirkung des Schwerpunktllagers reicht unter ansonsten normalen Betriebsbedingungen aus, um den Rotor nach kurzzeitigem radialen Anlaufen infolge einer radialen Stoßbeanspruchung des Systems sicher einzufangen.

In vorteilhafter und kostengünstiger Weise wird die Anlaufbuchse gemäß Patentanspruch 8 mit einem temperaturbeständigen Kunststoff mit guten Gleiteigenschaften ausgekleidet. Vorzugsweise werden PTFE (Polytetrafluoräthylen) oder Polyimid mit Gleitstoffeinlagen verwendet.

In weiterer Ausgestaltung der Erfindung ist gemäß Patentanspruch 9 für die Abtastung der axialen Rotorposition ein Sensor vorgesehen, der im wesentlichen aus zwei Spulen annähernd gleicher Impedanz besteht. Eine der Spulen ist mit axialem Abstand gegenüber einem Markierungsteil angebracht, das an einem der axialen Rotorenden befestigt ist und zur Abtastung der Rotorlage dient. Das Markierungsteil besteht aus einem Material mit hoher elektrischer und/oder magnetischer Leitfähigkeit. Die Begrenzungsfächen von Spule und Markierungsteil sind im wesentlichen eben und senkrecht in bezug auf die Rotörachse orientiert. Die zweite Spule des Sensors befindet sich gegenüber einem am Stator angebrachten Markierungsteil, das aus einem mit dem Material des Markierungsteils am Rotor vergleichbaren Material besteht. Der Aufbau des Sensors aus zwei weitgehend identischen Spulen ist insbesondere in

Verbindung mit einem Differentialtransformator im Eingangsbereich des Regelverstärkers von Vorteil, weil temperaturbedingte Veränderungen der Spulenimpedanzen neutralisiert werden und infolgedessen das Sensorsystem keine temperaturbedingte Dejustierung der magnetischen Lagerung bewirkt.

In weiterer Ausgestaltung der Erfindung wird zwischen dem Schwerpunktllager und dem Stabilisierungslager ein Antriebsmotor 8 untergebracht, Patentanspruch 10. Der an der Rotorwelle befestigte Läufer des Antriebsmotors besteht zu wesentlichen Teilen aus permanentmagnetischem Material geringer Permeabilität und ist in radialer Richtung magnetisiert. In Verbindung mit der erfindungsgemäßen Lagerung bildet ein Motor mit permanentmagnetischem Läufer bei geringer Permeabilität gegenüber den gebräuchlichen Kurzschlußläufermotoren mit hochpermeabler Eisenfüllung den Vorteil einer vergleichsweise geringen negativen radialem Steifigkeit. Diese tritt bei konventionellen, harten Wälzlagern nicht störend in Erscheinung, während sie die Gesamtsteifigkeit einer magnetischen Lagerung insbesondere einer solchen ohne radiale elektromagnetische Regelung, in unzulässiger Weise beeinträchtigen kann.

Nach Patentanspruch 11 ist für den Antriebsmotor zum Antrieb des permanentmagnetischen Läufers ein Stator vorgesehen, der eine bei Drehstrommotoren übliche Bewicklung aufweist und aus einem Drehstromgenerator bzw. Drehstromwandler gespeist wird. Eine solche Motorausbildung hebt sich in vorteilhafter Weise von der eines kollektorlosen Gleichstrommotors ab, weil sie einen höheren Motorwirkungsgrad ermöglicht. Dieser Vorteil kommt in besonderem Maße in Verbindung mit der berührungslosen magnetischen Lagerung zur Wirkung, weil Wärmeverluste am Motor sich nicht auf den Rotor übertragen, aus dem sie wegen der guten Wärmeisolierung des Rotors schlecht abgeführt werden können.

In weiterer Ausgestaltung der Erfindung ist am Rotor ein axial wirkendes Anlaufllager angebracht, das aus zwei gegeneinander gestellten und auf der Rotorwelle befestigten Schulter- bzw. Spindel-Kugellagern sowie aus einer mit dem Gehäuse verbundenen Kapsel besteht, Patentanspruch 12.

Nach Patentanspruch 13 ist die Verwendung der erfindungsgemäßen Lagerung in Verbindung mit einer Schwungscheibe aus hochfestem Material vorgesehen, insbesondere aus einem für höchste Drehgeschwindigkeiten ausgelegten Faserverbundmaterial. Systeme dieser Art sind in bekannter Weise geeignet als Energiespeicher für unterbrechungslose Stromversorgungen und für Chopper mit hoher Zeitauflösung.

Die erfindungsgemäße Rotorlagerung wird vor allem für Rotoren einer axial und/oder radial verdichteten Gasturbine, insbesondere einer Turbomolekularpumpe zur Erzeugung von Hochvakuum eingesetzt, Patentanspruch 14. Bei dieser Anwendung kommt der erfindungsgemäßen Lagerung aufgrund ihres einfachen Aufbaus und der hieraus folgenden hohen Betriebssicherheit eine besondere Bedeutung für den Einsatz für die Vakuumprozeßtechnik zu.

Eine weitere Verwendung ist für Spinturbinen gegeben, Patentanspruch 15. Für Spinturbinen ist insbesondere die kostengünstige Herstellbarkeit des Magnetlagers aufgrund seines einfachen Aufbaus von Vorteil.

Nachfolgend wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert. Die Zeichnung zeigt im einzelnen

Fig. 1 magnetische Lagerung, Grundaufbau;  
 Fig. 2 Schwerpunkt lager mit in axialer Richtung magnetisiertem Magnettringsatz;  
 Fig. 3 Stabilisierungslager;  
 Fig. 4 radiale Anlaufbuchse;  
 Fig. 5 Axialsensor;  
 Fig. 6 Antriebsmotor;  
 Fig. 7 Anlauf lager.

Fig. 1 zeigt schematisch den Grundaufbau der erfundsgemäßen magnetischen Lagerung. Ein Rotor 1, bestehend aus Welle 2 und an der Welle befestigtem Maschinenteil 3 (beispielsweise ein Schwungrad), befindet sich mit seinem Schwerpunkt 4 innerhalb eines Schwerpunkt lagers 5. Das Schwerpunkt lager 5 ist an einem Lagergehäuse 6 befestigt, das auch ein Stabilisierungslager 7 trägt. Am Lagergehäuse 6 ist für die Abtastung der axialen Rotorposition ein Sensor 8 angebracht, der mit dem Eingang eines Regelverstärkers 9 verbunden ist. Der Ausgangsstrom des Regelverstärkers 9 beaufschlägt die im Stabilisierungslager 7 befindlichen Ablenkspulen in der Weise, daß bei axialen Abweichungen des Rotors aus seiner vorgegebenen berührungslosen Soll-Position eine der Abweichung entgegenwirkende Rückstellkraft auf den Rotor ausgeübt wird. Der Regelverstärker 9 wird dabei vorzugsweise so ausgelegt, daß der Rotor 1 eine axiale Position einnimmt, in welcher alle im Schwerpunkt lager 5 wirkenden statischen Axialkräfte ausgeglichen sind, so daß unter diesen Bedingungen der Ausgangsstrom des Regelverstärkers zu Null wird. Dies trifft bei ausreichender Dimensionierung des Schwerpunkt lagers 5 und des Stabilisierungslagers 7 insbesondere auch für den Fall einer vertikalen Achslage des Gesamtsystems zu, in welcher außer den vom Schwerpunkt lager 5 und vom Stabilisierungslager 7 erzeugten magnetostatischen Axialkräften zusätzlich die Gewichtskraft des Rotors 1 aufgefangen werden muß. In diesem Falle sind die nach oben gerichteten Magnetkräfte um die Gewichtskraft größer zu bemessen als die nach unten gerichteten Magnetkräfte. Das Maschinenteil 3 ist an der Welle 2 derart anzukoppeln, daß der Schwerpunkt des Rotors 1 möglichst mit der Mitte des Schwerpunkt lagers 5 zusammenfällt.

Fig. 2 zeigt einen Halbschnitt durch ein Ausführungsbeispiel des Schwerpunkt lagers 5. Das Schwerpunkt lager weist Rotormagnetringe 10 und Statormagnetringe 11 auf, die sich in ihren Abmessungen weitgehend gleichen und innerhalb eines vorzugsweise aus Eisen oder einem anderen magnetisch leitenden Werkstoff gefertigten Schwerpunkt lagergehäuse 12 in der Weise hintereinander angeordnet sind, daß sich Rotormagnetringe 10a, 10b zwischen Statormagnetringen 11a, 11b, 11c befinden. Die Rotormagnetringe 10a, 10b sind mittels einer Stützscheibe 13 an der Welle 2 befestigt. Die Stirnseiten der Rotor- und Statormagnetringe stehen sich in engem axialem Abstand gegenüber.

Alle Rotor- und Statormagnetringe 10, 11 des Schwerpunkt lagers 5 bestehen aus hartmagnetischem Material und sind in achsparalleler Richtung magnetisiert. Die Rotor- und Statormagnetringe sind an der Welle 2 bzw. im Schwerpunkt lagergehäuse 12 derart befestigt, daß sie in bezug auf ihre Magnetisierungsrichtung 14, die in Fig. 2 mit Pfeilen angedeutet ist, hintereinander angeordnet sind. An den Lagerspalten zwischen Stator- und Rotormagnetringen stehen sich somit entgegengesetzte Magnetpole gegenüber, zwischen denen sich ein starkes Magnetfeld mit anziehender Wirkung aufbaut. Die Anziehungskräfte nehmen mit enger werdenden Lagerspalten stark zu. Bei Mittelstellung der

Rotormagnetringe zwischen den Statormagnetringen ergibt sich ein Kräftegleichgewicht, das jedoch äußerst instabil ist und nur durch entsprechende Auslegung des Stabilisierungslagers 7 (Fig. 3) aufrechterhalten werden kann.

Das zwischen den Stirnflächen der Rotor- und Statormagnetringe herrschende Magnetfeld bewirkt eine hohe radiale Rückstellkraft zwischen den Magnetringen. Die Magnetringe müssen mindestens so bemessen sein, daß das Rotorgewicht aufgefangen werden kann. In axialer Richtung können vergleichbare Rückstellkräfte durch eine axiale Verschiebung des Rotors erzeugt werden, so daß insbesondere bei vertikaler Achslage die aus den veränderten Lagerspaltweiten resultierenden magnetischen Differenzkräfte den Gewichtsausgleich bewirken.

Die Rotormagnetringe 10a, 10b sind im Ausführungsbeispiel in Schutzringen 15 aus einem Material mit hoher Zugfestigkeit eingepaßt, damit sie bei hohen Drehgeschwindigkeiten nicht durch Zentrifugalkräfte zerissen werden. Als Material für die Panzerringe 15 eignen sich neben hochfesten Edelstahl- oder Titanlegierungen insbesondere faserverstärkte Kunststoffe wie glaskohlenstoff- oder auch borfaserverstärkte Kunststoffe.

Fig. 3 zeigt den Aufbau des Stabilisierungslagers 7. Im Gehäuse 25 des Stabilisierungslagers 7 sind zwei elektrische Spulen 26a, 26b eingelassen, die mit zwei an der Welle 2 befestigten Ringmagneten 27a, 27b aus permanentmagnetischem Material in der Weise zusammenwirken, daß auf den Rotor 1 bei axialer Mittelstellung der Ringmagnete im Gehäuse 25 eine Axialkraft übertragen wird, deren Richtung und Betrag eindeutig und linear der Richtung und dem Betrag des die Spulen durchfließenden Stroms zugeordnet sind. Der Umlaufsinn des Stroms in die Spulen 26a, 26b ist dabei jeweils entgegengesetzt gerichtet.

Die Ringmagnete 27a, 27b des Stabilisierungslagers 7 sind auf Stützscheiben 28a, 28b montiert und in Schutzringen 29a, 29b aus einem unmagnetischen Material hoher Zugfestigkeit eingefäßt. Zwischen die Ringmagnete 27a, 27b ragt eine mit dem Stator fest verbundene Scheibe 30 aus elektrisch gut leitendem Material, vorzugsweise aus Kupfer, hinein. In der Scheibe 30 werden bei radialen Vibrationen des Rotors 1 durch die Ringmagnete 27a, 27b elektrische Wirbelströme induziert. Die in der Vibrationsbewegung des Rotors 1 enthaltene mechanische Energie wird dabei induktiv auf die Scheibe 30 übertragen und in Wärme umgesetzt. Auf diese Weise werden die Vibrationen des Rotors wirksam gedämpft.

Durch die Drehbewegung des Rotors 1 um seine Rotorachse 31 werden nur vernachlässigbar kleine Wirbelströme in der Scheibe 30 erzeugt, weil die magnetische Durchflutung der Scheibe sich bei dieser Bewegung nicht verändert. Die Scheibe 30 weist außerhalb des von den Ringmagneten 27a, 27b gebildeten Spaltes einen Kragen 32 auf, der den äußeren Kurzschluß für die Wirbelströme verbessert, so daß die Vibrationsdämpfung effektiver wird.

Fig. 5 zeigt einen Schnitt durch den Sensor 8, der zur Erfassung der axialen Rotorposition dient. Zwei Sensorspulen 33, 34 mit im wesentlichen gleichen Abmessungen und Windungszahlen sind fest am Sensorgehäuse 35 montiert. In engem axialen Abstand vor der Stirnfläche der Sensorspule 33 befindet sich am Wellenende 36 ein Markierungsteil 37 aus elektrisch und/oder magnetisch gut leitendem Material, z. B. aus Aluminium, Ferrit oder Stahl. Der zweiten Sensorspule 34 steht ein entspre-

chendes Markierungsteil 38 gegenüber, das am Sensorgehäuse 35 befestigt ist. Im Ausführungsbeispiel besteht das Markierungsteil 38 aus dem gleichen Material wie das Markierungsteil 37. Die Begrenzungsflächen von Sensorspulen und Markierungsteilen weisen nur einen geringen axialen Abstand voneinander auf. Die Sensorspulen 33, 34 werden von einem hochfrequenten Wechselstrom durchflossen, der vom Regelverstärker 9 (vgl. Fig. 1) geliefert wird und zur Ermittlung der Spulenimpedanzen bei der gegebenen Wechselstromfrequenz dient. Die Impedanzen der Sensorspulen 33, 34 sind dann annähernd gleich, wenn ihre Abstände zu den Begrenzungsflächen der Markierungsteile 37, 38 annähernd gleich sind. Das im Regelverstärker 9 gewonnene elektrische Signal ist in diesem Falle annähernd gleich Null. Bei axialer Rotorabweichung ist das Signal hinsichtlich seines Vorzeichens und Betrages der Richtung und dem Betrag der Abweichung des Rotors aus der neutralen Rotorposition eindeutig zugeordnet.

Das der axialen Rotorposition näherungsweise proportionale Signal des Regelverstärkers 9 wird mit einer Phasenvoreilung ausgestattet. Aufgrund dieser Phasenvoreilung wird außer der gewünschten Rückstellkraft gleichzeitig auch eine Dämpfkraft in axialer Richtung auf den Rotor übertragen, so daß insbesondere stoßartige Belastungen des Magnetlagers nicht zu axialen Rotorvibrationen führen.

Die erfindungsgemäße Lagerung ist somit in allen Achsen stabil und gedämpft, wobei lediglich in Richtung der Rotorachse 31 des Rotors mit elektromagnetischen Ablenkmitteln gearbeitet wird, im übrigen jedoch nur Permanentmagnete wirken.

Fig. 6 zeigt das Schnittbild eines Antriebsmotors 39 für den Antrieb des Rotors. Als Läufer des Antriebsmotors ist an der Welle 2 des Rotors 1 ein Rotorteil 40 befestigt, das zu wesentlichen Teilen aus permanentmagnetischem Material mit radialer Magnetisierung besteht. Das Rotorteil 40 ist berührungslos vom Motorstator 41 umgeben, der eine Drehstromwicklung 41' aufweist und aus einem Mehrphasen-Drehstromgenerator bzw. Drehstromwandler 42 gespeist wird. Der Antriebsmotor 39 kann an irgendeiner freien Stelle der Welle 2 angesetzt werden, insbesondere ist er zwischen dem Schwerpunktllager 5 und dem Stabilisierungslager 7 angeordnet.

Fig. 7 zeigt ein an der Welle 2 des Rotors angeordnetes Anlaufager 43. Das Anlaufager weist zwei an der Welle 2 befestigte, Schulter- bzw. Spindellager 44, 45 auf, die gegeneinander gestellt sind. Die Schulter- bzw. Spindellager wirken axial zusammen mit einer am Lagergehäuse 6 befestigten Kapsel 46, die aus mehreren Teilen aufgebaut sein muß, damit die Lager im zusammengebauten Zustand des Anlaufaglers von der Kapsel derart umschließbar sind, daß die äußeren Stirnflächen der Lager sich gegen Anlagenflächen 47 der Kapsel 46 abstützen können, wenn der Rotor 1 in axialer Richtung soweit ausgelenkt wird, daß eine zulässige berührungslose Maximalabweichung überschritten wird. In einem solchen Falle, insbesondere bei Ausfall der axialen Stabilisierungsfunktion des Stabilisierungslagers 7 übernimmt das Anlaufager dann die Aufgabe der axialen Abstützung des Rotors. Die Anlagenflächen 47 verhindern eine weitere Auslenkung des Rotors 1.

Beim Schwerpunktllager sind in den Ausführungsbeispielen die Rotormagnetringe zwischen Statormagnetringen angeordnet. Diese Zuordnung von Rotor- und Statormagnetringen kann auch in anderer Weise gestaltet sein, wenn nur die magnetische Hintereinanderan-

ordnung der magnetischen Zonen der Magnetringe und Scheiben beibehalten wird. Variierbar ist bei der magnetischen Lagerung der Erfindung selbstverständlich auch Stator- und Rotorteil. So ist es ohne Änderung der Lagerwirkung möglich, die Statorteile der magnetischen Lagerung auf einer feststehenden Achse zu montieren und die Rotorteile auf einer die Achse umschließenden Hohlwelle zu befestigen, die dann das die Achse umlaufende Maschinenteil trägt.

Bei Einsatz der magnetischen Lagerung für Maschinaggregate, bei denen korrosive Medien mit der Magnetlagerung in Berührung kommen, werden die Magnetringe neben den bereits beschriebenen Schutzringen, die aufschrumpfbar sind, auch auf ihren Stirnflächen geschützt. Hierzu eignen sich auf der Stirnseite der Magnetringe beispielsweise aufgeklebte Schutzbleche aus nichtmagnetisierbarem Material, beispielsweise aus Edelstählen. Möglich ist statt der Schutzbleche auch eine Beschichtung der Magnetringe durch galvanisches Auftragen von Schutzschichten aus flüssiger Phase.

Zur radialen Begrenzung der Bewegungsfreiheit der Welle 2 ist in Fig. 4 eine Anlaufbuchse 48 gezeigt, die am Schwerpunktllagergehäuse 12 befestigt ist. Die Anlaufbuchse 48 besteht vorzugsweise aus einem Kunststoff mit guter Gleiteigenschaft, z. B. aus PTFE oder Polyimid mit eingelagerten Gleitstoffen.

#### Patentansprüche

1. Magnetische Lagerung für einen Rotor mit Permanentmagneten zur Aufnahme der radialen Lagerkräfte und mit einem Stabilisierungslager, das den Rotor in einer berührungslosen Lage gegenüber einem Stator hält, wobei am Stator angebrachte elektrische Spulen mit am Rotor befestigten magnetisierbaren Teilen zusammenwirken und eine Wirbelstromdämpfung von Radialbewegungen des Rotors (1) gegenüber dem Stator vorgesehen ist, dadurch gekennzeichnet, daß zur Aufnahme der radialen Lagerkräfte ein im Schwerpunktbereich des Rotors angeordnetes permanentmagnetisches Lager, im folgenden Schwerpunktllager (5) genannt, mit im Vergleich zum Stabilisierungslager hoher Steifigkeit vorgesehen ist.

2. Magnetische Lagerung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Schwerpunktllager (5) aus einem koaxial zur Rotorachse angeordneten Satz von Magnetringen (10, 11) aus hartmagnetischem Material mit gleichgerichteter axialer Magnetisierung besteht, wobei in axialer Richtung abwechselnd Rotor- und Statormagnetringe angeordnet sind, und sich die im wesentlichen ebenen Stirnflächen von Rotor- und Statormagnetringen in engem axialen Abstand gegenüberstehen.

3. Magnetische Lagerung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Magnetringe eine das Material vor aggressiven Medien schützende Beschichtung aufweisen.

4. Magnetische Lagerung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Beschichtung aus auf den Magnetringen befestigten Schutzringen und/oder Schutzblechen besteht.

5. Magnetische Lagerung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Beschichtung der Magnetringe durch Abscheiden aus einer flüssigen Phase gewonnen ist.

6. Magnetische Lagerung nach einem der Ansprüche 3, 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, daß die

Beschichtung aus einem Material hoher Zugfestigkeit besteht.

7. Magnetische Lagerung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Schwerpunkt lager (5) eine Anlaufbuchse zur mechanischen Begrenzung des radialen Lagerspiels aufweist. 5

8. Magnetische Lagerung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Anlaufbuchse mit einem temperaturbeständigen Kunststoff mit guten Gleiteigenschaften, vorzugsweise PTFE (Polytetrafluoräthylen) oder Polyimid mit eingelagertem Gleitstoff, ausgekleidet ist. 10

9. Magnetische Lagerung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß für die Abtastung der axialen Rotorposition ein Sensor (8) eingesetzt ist, der im wesentlichen aus zwei Sensorspulen (33, 34) annähernd gleicher Impedanz besteht, von denen die eine Spule (33) einem vorzugsweise an einem der axialen Wellenden (36) angebrachten Markierungsteil (37) aus einem Material mit hoher elektrischer und/oder magnetischer Leitfähigkeit in engem axialen Abstand gegenübersteht, wobei gegenüberstehende Begrenzungsflächen von Spule (33) und Markierungs teil (37) im wesentlichen eben und senkrecht in bezug auf die Rotorachse (31) orientiert sind, während die zweite Spule (34) einem am Sensorgehäuse (35) angebrachten Markierungsteil (38) aus einem Material gegenübersteht, dessen elektrische und magnetische Eigenschaften denen des am Rotor (1) angebrachten Markierungsteils (37) weitgehend entsprechen. 15 20 25

10. Magnetische Lagerung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch die Anordnung eines Antriebsmotors (39) für den Rotor (1) mit einem Läufer (40) aus in radialer Richtung magnetisierten permanentmagnetischen Material. 30 35

11. Magnetische Lagerung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß der Antriebsmotor (39) einen Motorstator (41) mit bei Drehstrommotoren üblicher Bewicklung aufweist, der aus einem Mehrphasen-Drehstromgenerator bzw. Drehstromwandler (42) gespeist wird. 40 45

12. Magnetische Lagerung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß am Rotor ein axial wirkendes Anlauf lager (43) angebracht ist, das zwei auf der Welle (2) des Rotors (1) befestigte Schulter- bzw. Spindelkugellager (44, 45) aufweist, die beide gegeneinander gestellt sind, sowie aus einer mit dem Lagergehäuse (6) verbundenen Kapsel (46) besteht. 50

13. Magnetische Lagerung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch dessen Verwendung zur Lagerung eines Rotors, der eine Schwungscheibe (3) aus hochfestem Material, insbesondere aus für hohe Drehgeschwindigkeiten ausgelegtem Faserverbundmaterial trägt. 55

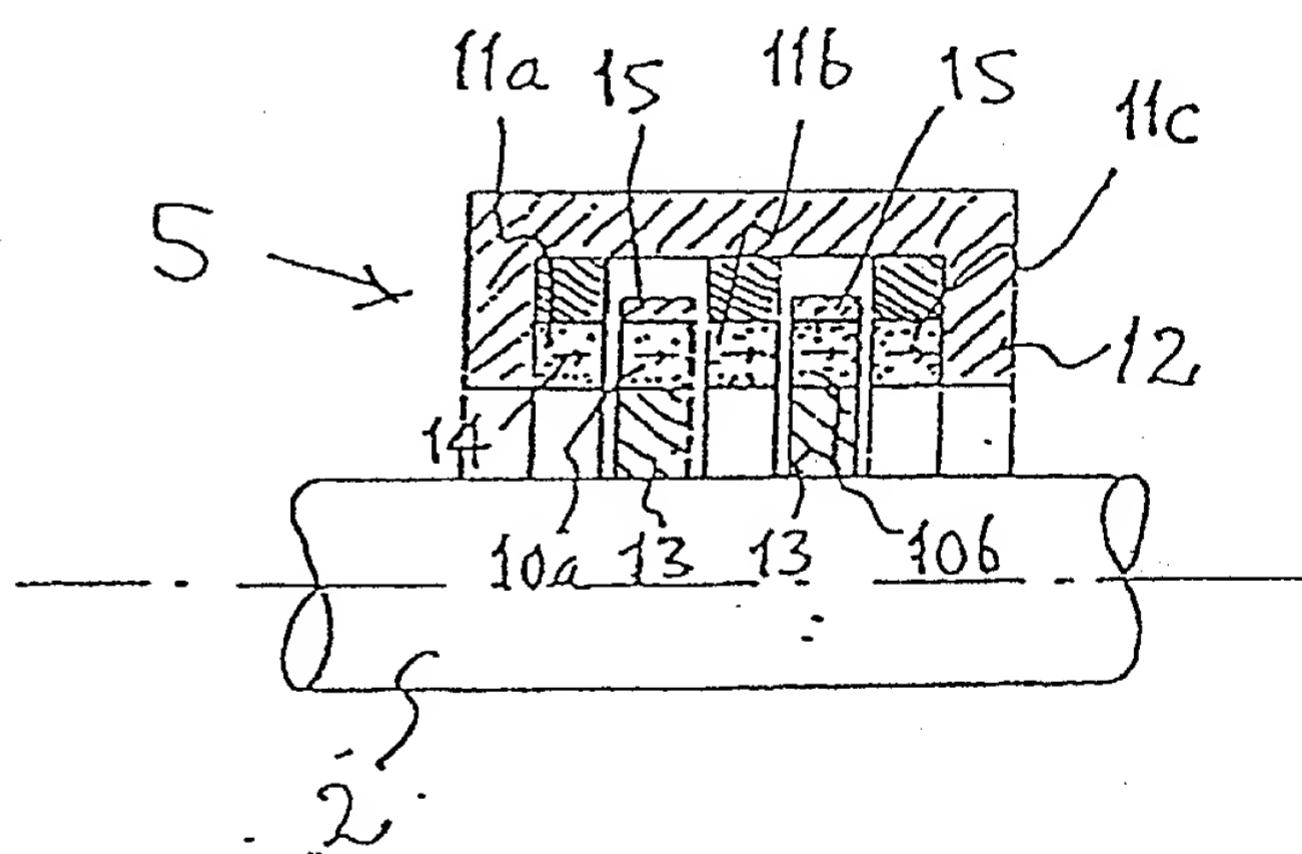
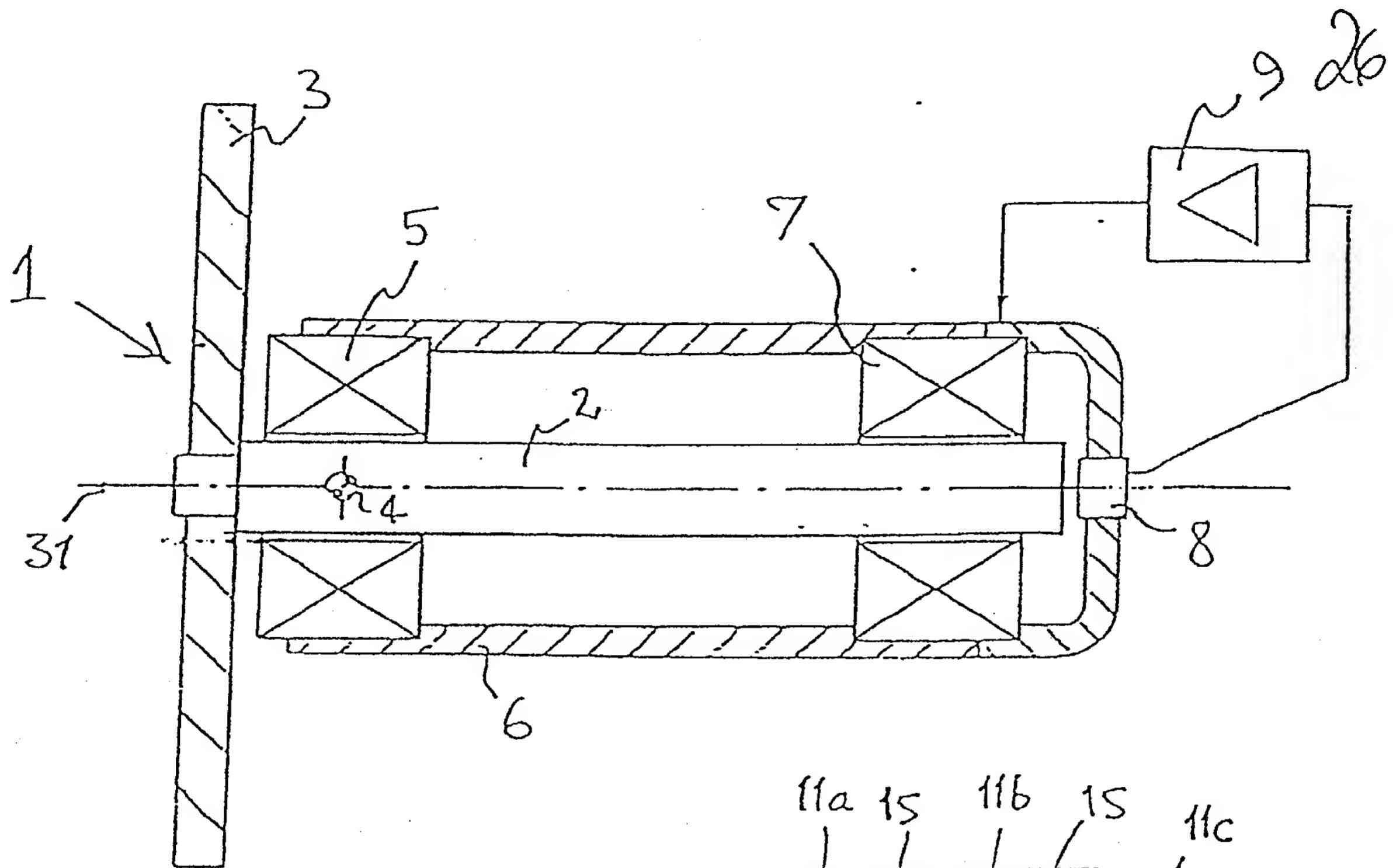
14. Magnetische Lagerung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch dessen Verwendung zur Rotorlagerung von axial und/oder radial verdichtenden Gasturbinen, insbesondere von Turbomolekularpumpen. 60

15. Magnetische Lagerung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch dessen Verwendung zur Rotorlagerung einer Spinturbine. 65

**- Leerseite -**

3844563

NUMMER:  
Int. Cl.4:  
Anmeldetag:  
Offenlegungstag:  
**H 02 K 7/09**  
12. März 1988  
23. November 1989



3844563

27

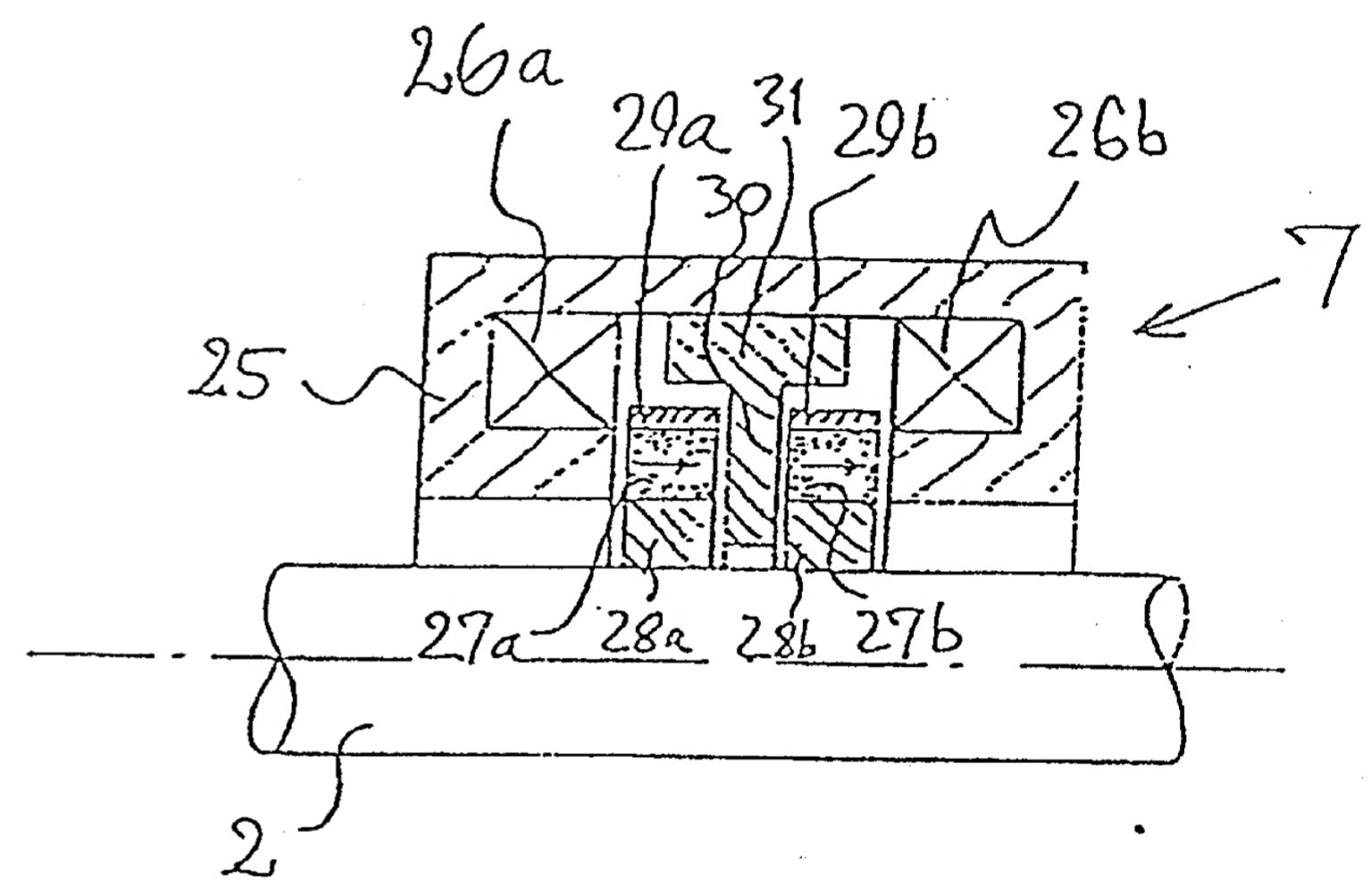


FIG. 3

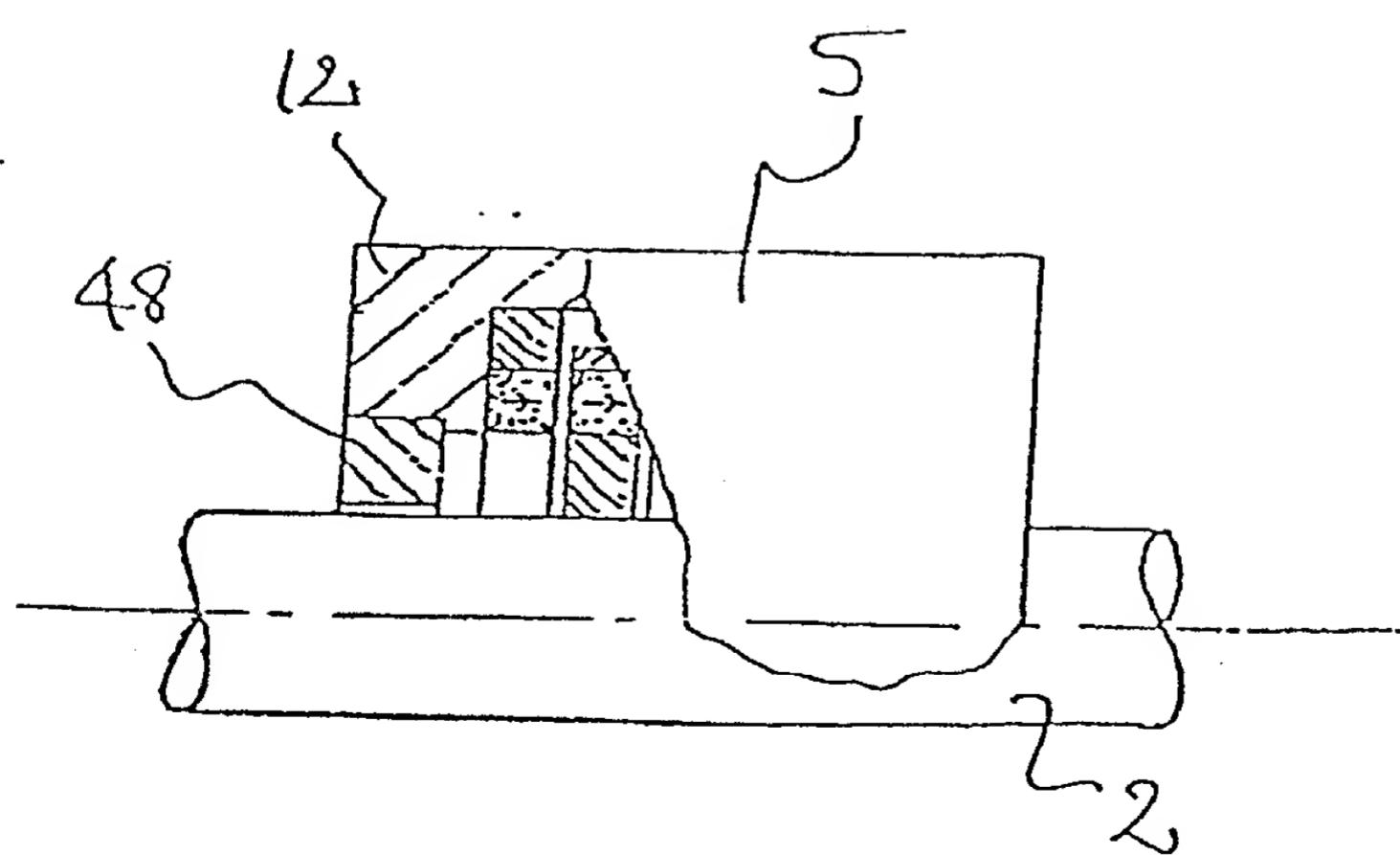


FIG. 4

13-106

3844563

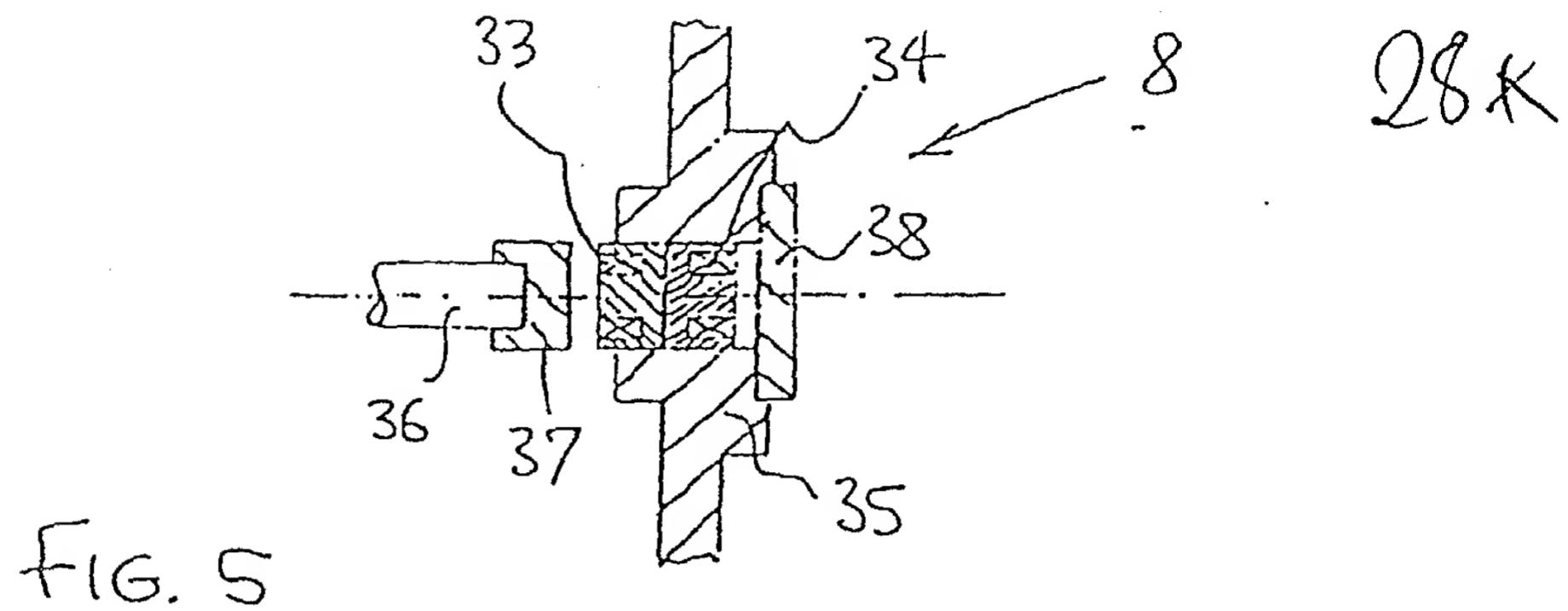


FIG. 5

28K

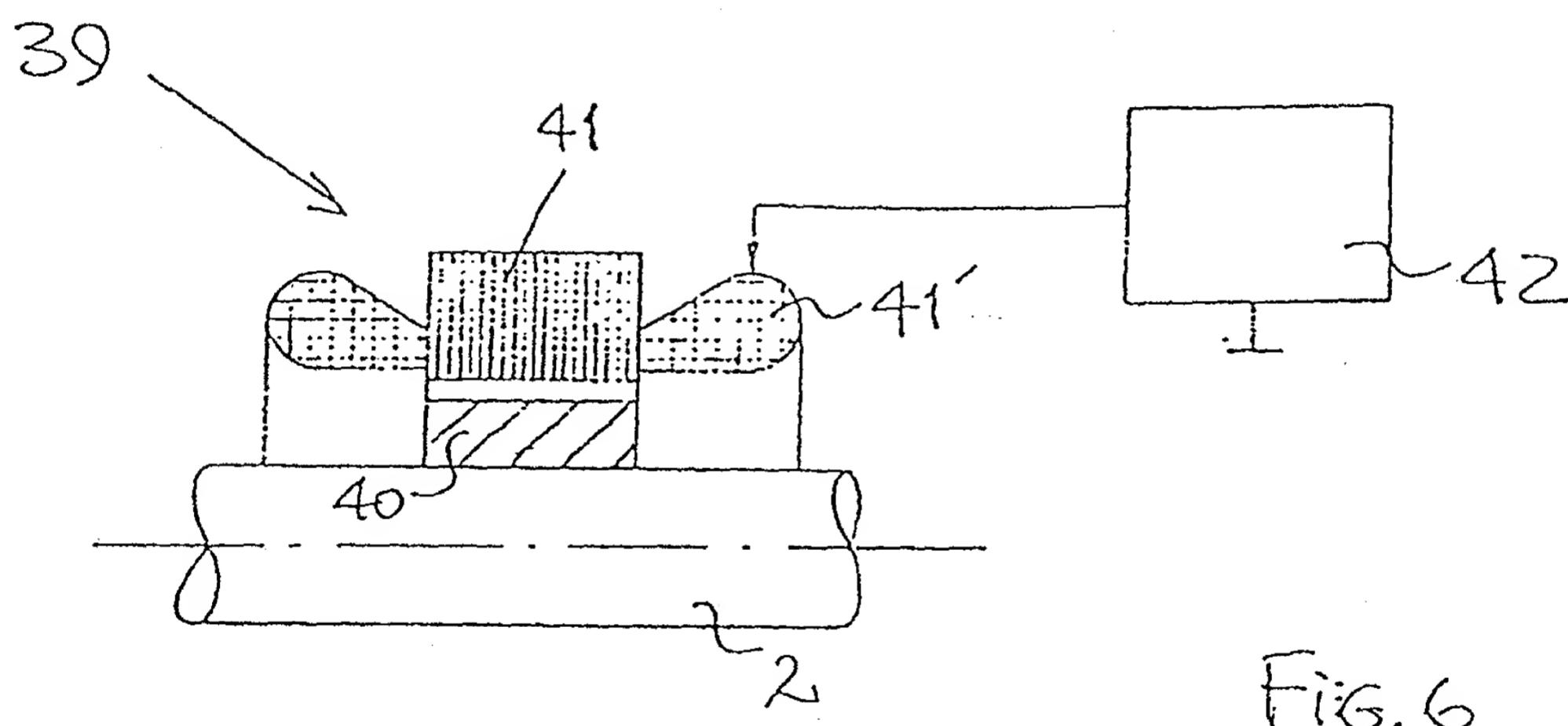


Fig. 6

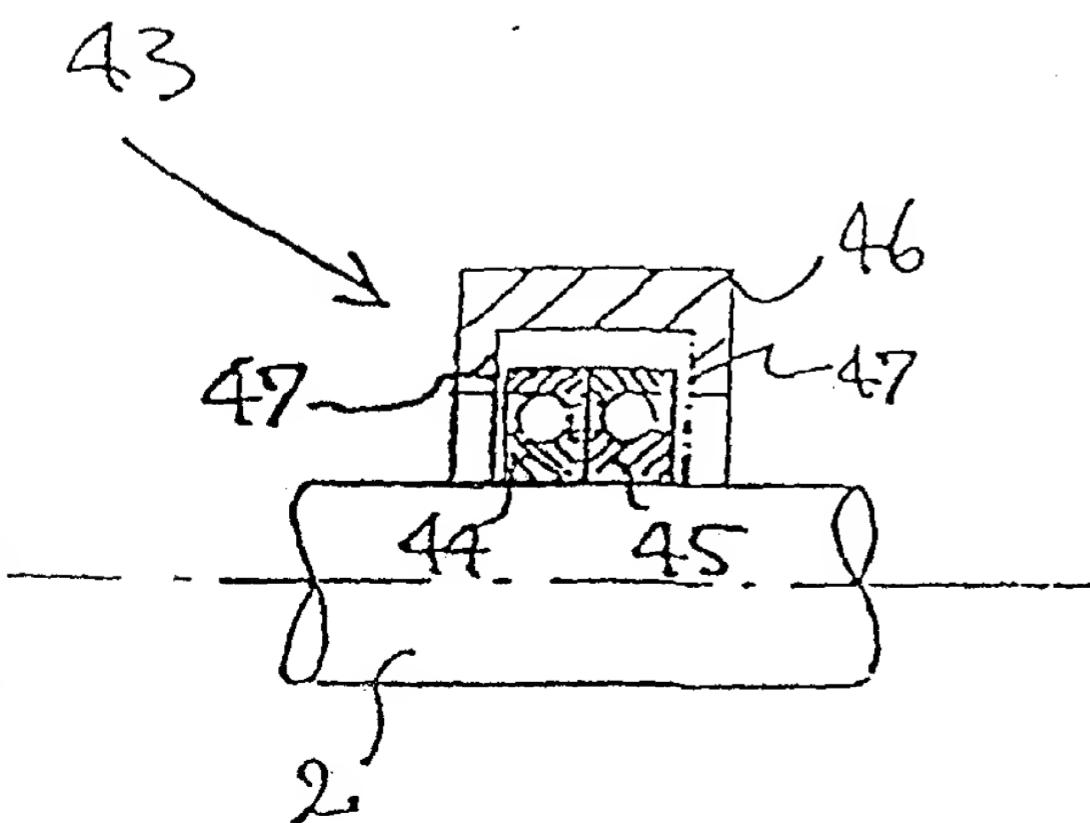


Fig. 7